

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 8 - 1 8 1 5 5 8

(43) 公開日 平成8年(1996)7月12日

| | | | | |
|----------------------------|------|--------|-----|--------|
| (51) Int. Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
| H 0 3 H | 3/04 | B | | |
| | | A | | |
| | 9/19 | C | | |

審査請求 未請求 請求項の数 2 1 O L (全 1 4 頁)

(21) 出願番号 特願平6-318928

(22) 出願日 平成6年(1994)12月21日

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 五味 武

長野県諏訪市大和3丁目3番5号セイコーエ
プソン株式会社内

(72) 発明者 遠藤 幸弘

長野県諏訪市大和3丁目3番5号セイコーエ
プソン株式会社内

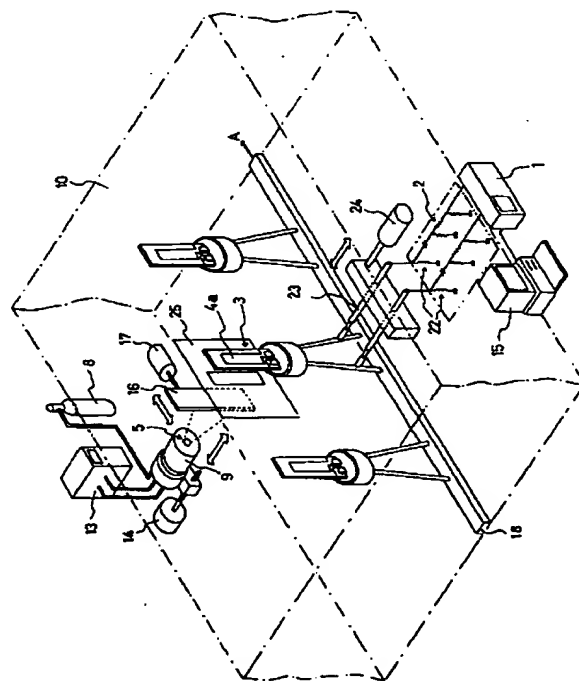
(74) 代理人 弁理士 鈴木 喜三郎 (外1名)

(54) 【発明の名称】 圧電素子、圧電振動子、その製造方法および加工装置

(57) 【要約】

【目的】 プラズマを用いて周波数を調整する方法を実際に用いて圧電素子を効率良く製造するために、照射中の共振周波数をモニター可能とし、さらに、安定した状態の照射源を用いて加工レートを調整可能とする。

【構成】 圧電素子 3 にコイル 2 2 によって直流成分をアース側に流せるようにしたフィクスチャーを接続し、照射中でも共振周波数をネットワークアナライザ 1 で測定可能とする。さらに、測定された共振周波数を演算処理装置 1 5 で処理し、圧電素子 3 とイオンガン 9 の距離を制御して、適当な加工レートで電極の減厚を図り、高精度の周波数の合わせ込みを可能とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 圧電素子の表面の少なくとも 1 部に形成された電極の少なくとも 1 部にイオン化された粒子を照射する手段と、

前記圧電素子の周波数を測定可能な測定手段と、
前記圧電素子の電極に対し低周波数成分を除去して前記測定手段を接続する接続手段とを有すること特徴とする圧電素子の加工装置。

【請求項 2】 請求項 1 において、前記接続手段は、一方が前記電極側に接続され、他方が接地側に接続された 10 コイルを備えていることを特徴とする圧電素子の加工装置。

【請求項 3】 請求項 2 において、前記接続手段は、前記の一方の側と前記周波数を測定可能な手段との間に挿入された容量を備えていることを特徴とする圧電素子の加工装置。

【請求項 4】 請求項 2 において、前記接続手段は、前記コイルの一方の側と直列に繋がった抵抗を備えていることを特徴とする圧電素子の加工装置。

【請求項 5】 圧電素子の表面の少なくとも 1 部に形成された電極の少なくとも 1 部にイオン化された粒子を照射する手段と、
これらイオン化された粒子を照射する手段と前記電極との距離を制御する手段とを有することを特徴とする圧電素子の加工装置。

【請求項 6】 圧電素子の表面の少なくとも 1 部に形成された電極の少なくとも 1 部にイオン化された粒子を照射する第 1 の照射手段と、
前記電極の少なくとも 1 部に、前記第 1 の照射手段より前記電極を減厚する能力の低いイオン化された粒子を照射する第 2 の照射手段と、
前記電極の少なくとも 1 部に対し前記第 1 および第 2 の照射手段をこの順番に適用する手段とを有することを特徴とする圧電素子の加工装置。

【請求項 7】 請求項 6 において、前記第 2 の照射手段は、前記第 1 の照射手段よりエネルギーの低いイオン化された粒子を照射する手段であることを特徴とする圧電素子の加工装置。

【請求項 8】 請求項 6 において、前記第 1 の照射手段およびこの第 1 の照射手段と対峙した前記電極との距離を制御可能な第 1 の制御手段と、前記第 2 の照射手段およびこの第 2 の照射手段と対峙した前記電極との距離を制御可能な第 2 の制御手段とを有することを特徴とする圧電素子の加工装置。

【請求項 9】 請求項 8 において、前記圧電素子の周波数を測定可能な測定手段と、前記電極に対し低周波数成分を除去して前記測定手段を接続する接続手段とを有すること特徴とする圧電素子の加工装置。

【請求項 10】 請求項 9 において、前記第 1 および第 2 の制御手段は、前記測定手段の測定結果に基づいて前 50

記距離を制御することを特徴とする圧電素子の加工装置。

【請求項 11】 圧電素子の表面の少なくとも 1 部に金属製の電極を形成する工程と、
これらの電極の少なくとも 1 部に対しイオン化された粒子を照射し周波数を調整する加工工程とを有し、
前記加工工程において、前記圧電素子の電極に流れる電流の低周波数成分を除去しながら前記圧電素子の周波数をモニターすることを特徴とする圧電素子の製造方法。

【請求項 12】 圧電素子の表面の少なくとも 1 部に金属製の電極を形成する工程と、
これらの電極の少なくとも 1 部に対しイオン化された粒子を照射し周波数を調整する加工工程とを有し、
前記加工工程において、前記粒子の照射源とこの照射源と対峙する前記電極との距離を制御することを特徴とする圧電素子の製造方法。

【請求項 13】 圧電素子の表面の少なくとも 1 部に金属製の電極を形成する工程と、
これらの電極の少なくとも 1 部に対しイオン化された粒子を照射し周波数を調整する加工工程とを有し、
前記加工工程において、前記圧電素子の電極に流れる電流の低周波数成分を除去しながら前記圧電素子の周波数をモニターし、この周波数に基づき前記粒子の照射源とこの照射源と対峙した前記電極との距離を制御することを特徴とする圧電素子の製造方法。

【請求項 14】 圧電素子の表面の少なくとも 1 部に金属製の電極を形成する工程と、
前記電極の少なくとも 1 部に対しイオン化された粒子を照射し周波数を調整する第 1 の加工工程と、
前記電極の少なくとも 1 部に対し前記第 1 の加工工程より前記電極を減厚する能力の低いイオン化された粒子を照射し周波数を調整する第 2 の加工工程とを有することを特徴とする圧電素子の製造方法。

【請求項 15】 請求項 14 において、前記第 2 の加工工程において、前記第 1 の加工工程よりエネルギーの低いイオン化された粒子を照射することを特徴とする圧電素子の製造方法。

【請求項 16】 請求項 14 において、前記第 1 の加工工程において、前記電極に流れる電流の低周波数成分を除去しながら前記圧電素子の周波数をモニターし、このモニターされた周波数に基づき前記粒子の照射源と前記電極との距離を制御し、前記モニターされた周波数がターゲットとする周波数に達すると前記第 2 の加工工程に移行することを特徴とする圧電素子の製造方法。

【請求項 17】 圧電体と、この圧電体の表面の少なくとも 1 部に形成された電極とを有し、イオン化された粒子により前記電極の少なくとも 1 部が減厚されていることを特徴とする圧電素子。

【請求項 18】 請求項 17 において、前記電極の少なくとも 1 部は、前記電極を減厚する能力の異なる前記イ

オン化された粒子によって、連続的に、あるいは段階的に減厚されていることを特徴とする圧電素子。

【請求項19】 圧電体の表面の少なくとも1部に形成された少なくとも1枚の電極の少なくとも1部が、これらの電極を減厚する能力の異なるイオン化された粒子によって連続的に、あるいは段階的に減厚された圧電素子と、

この圧電素子を保護する中空のハウジングとを有することを特徴とする振動子。

【請求項20】 請求項19において、前記ハウジングはモールド部材によってモールドされていることを特徴とする振動子。

【請求項21】 請求項19に記載の振動子と、前記圧電素子の発振回路を備えた集積回路装置とを有し、前記ハウジングおよび集積回路装置がモールド部材によって共にモールドされていることを特徴とする振動子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は水晶振動子等の圧電素子の製造過程において共振周波数の周波数調整を行う方法、そのための装置、およびこれらによって製造された圧電素子、振動子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来の水晶振動子に代表される圧電素子の周波数の調整は質量を付加して所望の周波数を得る蒸着を用いた周波数調整方法が一般的であった。これに対し、近年、スパッタエッチングを行ったり、あるいはイオンガンを用いてイオンビームを照射して電極の質量を軽減し、所望の周波数を得る、いわゆるプラズマを用いた周波数調整方法が提唱されている。

【0003】 現状のプラズマを用いた周波数調整方法では、まず、圧電母材を所定の切り出し角度と形状に切断し、その後、研磨して圧電体を仕上げる。そして、この圧電体の表裏に電極形状を模したマスクを密着させた後、真空中で銀等の金属膜を蒸着してベース電極を形成する。この際、従来の蒸着による周波数調整と異なり、膜厚モニタで蒸着中の周波数を管理し、共振周波数を所望値に対して500～2000ppm低く設定する。すなわち、所望の周波数が得られる電極膜厚に対し、膜厚が増した状態の素子を製造する。

【0004】 このような電極の形成された圧電素子を適当なホルダーに装着し、スパッタエッチングあるいはイオンビームを照射することにより、電極を減厚して周波数を高め、所望の共振周波数を得る。このような周波数の調整を行う際は、まず、調整を行おうとする圧電素子（ワーク）の共振周波数を測定して合わせ込み周波数との周波数差を求める。圧電素子の周波数調整を行う加工レートを、予め測定されたスパッタエッチングあるいはイオンビームの強度を基に定め、個々のワークの周波数差とこの加工レートからスパッタエッチングまたはイオ

ンビームを照射する時間を割り出す。

【0005】 次に、この照射時間を基に照射を開始する。照射する際は、ワークに直流電流が流れるので、測定系を電氣的に切り離す。そして、計算された照射時間に達する前に、照射を中断し、測定系を再び接続し、再度ワークの共振周波数を測定し、合わせ込み周波数との差を検出する。これらの作業を数回繰り返すことにより、合わせ込み周波数との差が所定の範囲に（ほぼ零）になるよう合わせ込みを行なう。

【0006】 蒸着を用いた周波数調整方法では、周波数調整を行う際には蒸着速度を極端に遅くする必要があり、さらに、蒸着する部分を制限するためのマスクも精度の高いものが必要となるなど、設備、作業時間などの面で非常にコスト高であった。また、調整後の周波数精度もそれほど高い値は望めなかった。これに対し、プラズマを用いた周波数調整方法は、作業時間は短くて済み、調整後の周波数精度も高くなるという利点を備えている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、提唱されているプラズマを用いた周波数調整方法も解決すべき幾つかの問題を含んでいる。まず、蒸着の場合と異なり、プラズマを印加することによってワークに直流電流が流れるので周波数調整中の共振周波数をモニターできないことである。このため、加工レートから照射時間を決定し、この時間を管理することによって周波数調整を行わざるを得ない。照射時間を決める加工レートは、電極の大きさ、種類など様々なファクターを考慮して計算できるが、同じ周波数帯であっても各々の圧電素子で製造工程上の固体差があり、またはスパッタガンやイオンビームガンのソース側の安定性や加工装置の雰囲気など、加工レートに影響を与える要素は様々である。そして、これらを一括して管理することは非常に難しい。このように、単に照射時間を管理するだけでは、周波数調整後の共振周波数が合わせ込み周波数からずれてしまうので、照射時間を分割し、調整状況に合わせて照射時間を調整している。従って、実際には、照射、周波数測定、照射といったステップを何度も繰り返す必要があるために加工時間を短縮できる効果はそれほど得られていない。また、照射時間を管理するだけなので、最終的に周波数を合わせ込み高い精度を確保するためには高度な経験が必要となり、自動化することには困難が伴う。

【0008】 次に、加工レートの問題がある。スパッタリングやイオンガンに印加されている電圧・電流を一定に保つと、略一定の安定したエネルギーの照射が得られ、加工レートも略一定に保てる。しかし、ワークの共振周波数と合わせ込む周波数との差が大きいたまは、大きな加工レートが得られないと加工時間が長くなり製造効率が悪化する。一方、周波数の微調整を行うときは加工レートが小さくないと精度の高い調整はできない。加

工レートを大きくしておき、シャッター等の機構によってある程度の精度は確保できるが、加工装置が複雑になり、これらの制御および動作の安定性などの考慮すべき問題がある。また、このような機構を用いても最終的な周波数の精度の向上はあまり期待できない。

【0009】イオンガンなどの周波数調整源に供給する電流を制御することによって加工レートを調整することも可能である。しかし、加工レートが変動すると加工時間も変わり、イオン化された粒子のエネルギーの変動を精度良く把握できないと、精度の高い加工時間を設定できない。従って、上述した共振周波数をモニターできないこともあって、加工レートを変動させ加工時間が短縮できても最終的な周波数の精度を確保することは困難である。さらに、周波数調整源を定常状態で維持させるためにはある一定以上の電力を供給する必要がある、電力の変動に起因する周波数調整源の不安定さも解決する必要がある。

【0010】このようにプラズマを用いて電極を減厚する周波数調整方法は、精度の向上および加工時間の短縮といった面で非常にメリットがあると予想されるが、安定した性能の製品を安価に提供するには至っていない。そこで、本発明においては、上記のような問題を解決し、プラズマによって周波数の調整された圧電素子を実際に市場に供給できる製造方法、それに適した加工装置を提供することを目的としている。さらに、プラズマによる周波数調整を製造工程の中にインライン化して、効率良く周波数調整できる製造方法および加工装置を提供することも目的としている。そして、このような製造方法および加工装置を用いてプラズマ加工によって精度良く周波数調整され、性能の安定した圧電素子、および振動子を安価に提供することを目的としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明においては、まず、周波数を合わせ込む精度を向上させるために、周波数を測定するネットワークアナライザーなどの測定手段を、直流、脈流などの低周波数成分を除去する接続手段を介して圧電素子の電極に接続し、照射中の共振周波数の変化をモニターできるようにしている。低周波数成分を除去可能な接続手段としては、接地側と繋がったコイルを用いることができ、これによって照射によって流れる直流成分などの共振周波数をモニターするのに必要のない成分を除去し、測定系のダメージを回避できる。共振周波数をモニターしながら周波数調整を行うことにより、連続的な加工が可能となり、さらに、自動化も容易となるので、周波数を調整する工程も自動化された製造工程の中に組入れ、効率的な運用を行える。さらに、コイルに加えて負荷容量を接続することによってフィルタ機能に加えて、圧電振動子ユーザーの回路系とのマッチングを図ることができ、また、コイルと直列に抵抗を接続することによって、照射初期の電流を低減すること

ができる。

【0012】本発明においては、さらに、イオンガンなどのイオン化したガスの照射源が安定した状態で照射強度が制御できるように、照射する手段と照射対象となる電極との距離を制御する手段を設けてある。照射する手段と電極との距離を変えることによって照射源の稼働状態を変動させずに電極に照射されるイオン化されたガスのエネルギーを制御できる。従って、安定した照射条件下で精度の高い周波数調整が可能となる。

【0013】さらに、本発明においては複数のステップに分けて照射を行うことにより、加工作業にかかる時間を短縮し、精度の高い共振周波数を得るようにしている。すなわち、加工レートの比較的大きな工程と、加工レートの比較的小さな工程を組み合わせることによって、加工時間の短縮と共振周波数の微調整を可能としている。また、このように工程を分割することによって1つの工程におけるターンダウンレシオ（加工レートの最大値と最小値との比）を小さくできるので、装置の安定性は増し、装置の簡略化も図れ、信頼性も向上できる。

【0014】

【実施例】図1に、本発明の実施例に係る圧電素子の周波数を調整する加工装置の例を示してある。本例の装置30は、圧電素子を搬送するコンベアーなどの搬送機構18の移動方向（矢印A）に沿って3つのブロックに主に分かれている。圧電素子が導入される側の第1のブロック31aは、圧電素子の大きな周波数調整を行う粗調用のブロックである。次の第2のブロック31bは、中間的な周波数調整を行う粗微調用のブロックであり、これに続いて最終の周波数の合わせ込みを行う第3のブロック31cが配置されている。

【0015】各々のブロック31a～31cでは、照射エネルギーの異なる周波数調整源9a～9cからイオン化されたガスが搬送機構18によって運ばれる圧電素子（ワーク）3に照射されるようになっている。本例では、周波数調整源9a～9cとしてイオンガンを採用しており、また、ガスとしてアルゴンガスを採用している。これらイオンガン9a～9c、ワーク3および搬送機構18、および後述するこれらの位置を調整する機構は、真空容器10に格納されている。この真空容器10の内部はメカニカルブースターポンプ11を介してロータリーポンプ12で 10^{-3} Torr程度まで真空排気された後、アルゴンガス供給源8から 10^{-1} ～ 10^{-2} Torr程度までアルゴンガスが満たされている。さらに、真空容器10の搬入側および搬出側にはロードロック室10aおよび10bが設けられており、搬送機構18を用いてワーク3が連続的に真空容器10の内部に運び込まれるようになっている。

【0016】搬送機構18で搬入されたワーク3は、第1のブロック31aから第2、第3のブロック31bおよび31cと順番に照射され、周波数の調整が自動的に

行われる。ワーク3は、この加工装置10に搬入される前に、圧電体の表面に、例えば銀、アルミニウムなどの金属製の電極が蒸着などによって形成されており、これらの電極は所望の共振周波数 f_0 となる電極に対し若干厚く仕上げてある。従って、搬入されたワーク3の共振周波数 f_1 は、所望の共振周波数 f_0 に対し2000ppm程度低い値となっており、このようなワークに対しイオンガスを照射して電極の厚みを減らし、共振周波数 f_1 を f_0 まで上げる加工が本例の装置30で行われる。

【0017】ベースとなる電極が仕上がった状態のワーク3は、周波数 f_1 が2000ppm程度のばらつきを持っているので、まず、粗調を行う第1のブロック31aでは、所望の共振周波数 f_0 に対し200ppmまでの合わせ込みを受け持つ。このため、ワーク3と周波数調整源9aとの距離は5mm程度と他のブロックの周波数調整源に比べ近い距離に設定されており、これにより加工レートは約800ppm/秒と速い加工レートが得られる。

【0018】第2のブロック31bでは粗微調を行い、粗調上がりのワーク3の周波数 f_1 が共振周波数 f_0 に対し50ppm程度となるまでの合わせ込みを受け持つ。このため、ワーク3と周波数調整源9bとの距離は10mm程度に設定されており、加工レートは約100ppm/秒が得られるようになっている。

【0019】第3のブロック31cは、最終的な調整である微調を行うブロックであり、粗微調上がりのワーク3の周波数 f_1 が所望の共振周波数 f_0 に対し0ppmとなるまでの合わせ込みを受け持つ。このため、ワーク3と周波数調整源9cとの距離は20mm程度に設定されており、さらに、加工レートは約20ppm/秒の遅い加工レートが得られようにして微妙な調整を可能にしてある。

【0020】本例の加工装置30は、このような加工レートの異なる3つのステップで周波数調整を行うことによって、短時間に2000ppmから0ppmまでの調整を行え、さらに、最終的な微妙な調整も無理なくできるようになっている。そして、これらのブロック31a~31cの間をワークは自動的に搬送されるので、ワーク3を連続的に処理でき、製造工程の流れの中に周波数を調整する工程を容易に導入できる。

【0021】また、周波数調整源9a~9cは、個々に圧電素子3の共振周波数 f_1 をフィクスチャ2を介して連続的にネットワークアナライザ1で測定できる。さらに、個々のブロックの周波数調整源（イオンガン）9a~9cとワーク3との距離は駆動機構14a~14cによって調整でき、これによって個々のブロックの加工レートを変えることができる。従って、ワークの周波数 f_1 と合わせ込み周波数 f_0 との周波数差 Δf を個々のブロック毎に外部演算装置15で管理し、そのブロックの

最適加工レートとなるよう個々の駆動装置14へ制御信号を送り、各ブロック毎にワーク3と周波数調整源9a~9cとの距離を変えることができる。この結果、各ブロックでは、ワーク3の周波数 f_1 をターゲットとする周波数に達するまで容易に、また確実に安定して調整できる。さらに、本例の装置30は、加工スピードを低下させずに過大な照射による周波数の合わせ込みが失敗するといった事態を未然に防止できる。

【0022】図2に、第1~第3の各ブロックの構成を示してある。これらのブロック31a~31cの構成はワークとイオンガンとの距離や、イオンガンの照射エネルギーなどを除けば同じであるので、1つのブロックを代表して示してある。

【0023】真空容器10の内部に設置されている周波数調整手段すなわち周波数調整源として本例ではイオンガン9を用いている。イオンガン9は、例えば、内部に直流電源13の接続されたステンレス製の $\phi 10$ mmの電極棒を備えており、外周部を構成する $\phi 100$ mmの円筒状をしたステンレスとは絶縁され、さらに、外周部はアースシールドされている。上述したように、真空容器10を 10^{-3} Torrレベルに真空排気された後、アルゴンガスが 10^{-1} ~ 10^{-2} Torr程度流入された状態であり、イオンガン9の電極棒に直流電源13から直流電圧を印加すると、アースシールドされた外周部との間でアルゴンプラズマが発生する。発生したプラズマによりアルゴンガスはラジカルおよびイオンとなり、イオン化されたアルゴンガスは、電極棒の先端方向に当たるイオンガン9の $\phi 3$ mmの噴き出し口5から飛び出す。

【0024】この噴き出し口5と対向した位置に搬送機構18によって搬送されたワーク3が位置しており、水晶振動子等のワーク3の表面にイオン化されたガス粒子が衝突する。アルゴンイオンがワーク3に衝突することでワーク3の表面に形成された電極膜4（本例では、ワーク3の両面に電極膜4aおよび4bが形成されており、アルゴンイオンは図示された電極膜4aの反対側の面の電極膜4bに照射される）の銀を弾き飛ばす。このため、電極の質量は減少し、その結果ワーク3の周波数 f_1 は低い周波数から高い周波数へ変化する。

【0025】イオンガン9とワーク3の間には、シャッター16が設置されており、このシャッター16を駆動機構17で開閉制御することによってアルゴンイオンの照射を遮断できる。さらに、シャッター16とワーク3の間にはマスク25が挿入されており、このマスク25によってアルゴンイオンの方向性を規定している。本例の装置に用いられているマスク25は、連続的に搬送される複数のワーク3に対し、周波数調整が行われているワーク以外にはアルゴンイオンが照射されないようにするためのものである。従って、蒸着に用いられるマスクのように精度の高いものは不要であり、また、このマスクに対するワークの位置合わせにもそれほどの精度

は要求されない。

【0026】さらに、イオンガン9をワーク3に対し前後方向に移動させる駆動機構14が設けられており、イオンガン9とワーク3との間の距離を変えることによって、ワークに照射されるアルゴンイオンのエネルギーおよび量を制御できるようになっている。このように距離を変えることによってアルゴンイオンのエネルギーや量を制御すれば、イオンガン9は所定の電力を印加したままの安定した状態で保持できるので、安定した性能および加工レートがえられる。このため、加工レートの制御は容易であり、大きな電力を印加したまま高いレートでの制御もでき、また、微調を行うような低いレートでの良好な応答性も得られる。

【0027】アルゴンイオンが衝突することにより変化するワーク3の周波数 f_1 は、フィクスチャ2を介して、周波数測定手段すなわちネットワークアナライザ1を用いて連続的に測定している。ネットワークアナライザ1とフィクスチャ2の接続は、50Ω系の同軸ケーブルが用いられる。フィクスチャ2とワークとの接続は、ワーク3に接続されたリードに対し、駆動機構24によって着脱可能なプローブ23を介して行われ、連続的に搬送されたワーク3の照射中の周波数を測定するようになっている。

【0028】図3に、本例の装置に採用されている測定系の構成を示してある。本例の測定系で採用しているフィクスチャ2の回路構成（インピーダンス整合回路）では、ワーク3に設けられた2つの電極4aおよび4bのそれぞれに、抵抗19、20、21が π 型に配置された標準的な π 回路が接続され、さらに、これらの π 回路の上流（ワーク3の側）にコイル22が抵抗21と並列になるように接続されている。これらのコイル22はワーク3の電極4aおよび4bと、アースを短絡するように回路に接続されている。このため、照射によって電極4aおよび4bに帯電したプラス電荷は直流成分、あるいは低周波数成分として、プローブ23とこれらのコイル22を介してアースに流れ、ネットワークアナライザ側には流れない。従って、ネットワークアナライザ1には共振周波数に起因する交流分だけが流れ込む。このため、照射によってワーク3に大きな低周波数成分の電流が流れても、故障の原因となるこの低周波数成分はネットワークアナライザ側には流れ込まず、照射中であっても継続して周波数のモニターが可能となる。

【0029】図4ないし図6に、フィクスチャの異なった回路例を示してある。図4に示した例は、簡易型の整合回路を用いたものであり、低周波数成分をバイパスさせるコイル22と、これと並列に接続されたインピーダンス整合用の抵抗21とから構成されている。抵抗21は、コイル22のインピーダンスより高い値のものが選定されており、低周波数成分がコイル22に流れ、高周波成分のみがネットワークアナライザ側に供給される

ようになっている。

【0030】図5に示した例は、標準的な π 回路にコイル22に加え負荷容量26を追加した回路である。この負荷容量26の値としてユーザー側が発振回路に実際に組み込む値を採用することができ、供給先で計測されるのと同じ条件で共振周波数を測定することができる。さらに、この負荷容量26は高周波成分のみをネットワークアナライザ側に通過させるフィルタとしての機能も果たすので、コイル22と共にネットワークアナライザ側に直流などの低周波数成分を流さずにアース側に落とす機能を持っている。図4に示した簡易型の整合回路に負荷容量を追加することも可能である。

【0031】図6に示した例は、図4に示した簡易型の整合回路に負荷容量26に加え、さらにコイル22と直列に抵抗27を接続してある。コイル22と直列に抵抗27を接続することによってコイル22を流れる電流を制限することができる。照射開始時には急激に大きな直流電流が電極を介して流れるが、抵抗27を挿入することによってこの突入電流の値を制限し、圧電素子を介して流れる電流を調整することが可能となる。フィクスチャ2を構成する回路として、これらのいずれの回路も採用でき、圧電素子の形状、種類、および照射状況などの要素を考慮して適当な回路を選択すれば良い。

【0032】図3に戻って、本例において共振周波数をモニターするために採用しているネットワークアナライザ1の概略を説明する。ネットワークアナライザ1は、高周波の発生源41を備えており、発生された高周波信号が信号分離部42で2つに分離され、その一方がフィクスチャ2の入力側を介してワーク3の電極の一方に印加される。ワーク3の電極の他方の側はフィクスチャ2の出力側を介してネットワークアナライザ1の受信部43に入力され、この受信部43には信号分離部42で分離された残りの信号も同時に入力される。そして、受信部43でこれらの高周波信号の位相と振幅比が求められ、表示部44に表示され周波数を調整している途上のワーク3の共振周波数がモニターされる。同時に、これらの情報が外部演算装置15に供給され、モニターされた共振周波数 f_1 と、予め設定された合わせ込む周波数 f_0 あるいは第1あるいは第2のブロックにおいてターゲットとされる周波数 f_0' 、 f_0'' とが比較される。

【0033】外部演算処理装置15では、これらの比較に基づき各ブロックにおいてそのワークを加工するために最適な加工レートを算出する。さらに、この算出された加工レートを得るためにワーク3とイオンガン9の噴き出し口5の距離を割り出して、駆動装置14へ信号を送る。この結果、周波数調整源9が前後に移動し、噴き出し口5とワーク3との距離が適当に調整される。

【0034】このようなネットワークアナライザに替わり、図7に示す発振器45と周波数カウンタ46を

用いても照射中のワーク 3 の共振周波数 f_1 をモニターできる。そして、周波数カウンタ 45 の出力を外部演算処理装置 15 に供給することによって、上記と同様に加工レートの制御が可能である。

【0035】これらの装置によってモニターされた共振周波数 f_1 を用いて各ブロックのワーク 3 と噴き出し口 5 の距離が調整される。本例の装置では、各ブロック毎にこの距離が 5 ~ 20 mm まで可変できる機構になっており、周波数調整加工を開始する前は 5 mm の距離にプリセットされる。加工が始まるとイオンガン 9 は、測定された周波数の差、プログラムされた周波数の差、および加工レートの設定値に基づき制御される。そしてイオンガン 9 はイオンを照射して周波数の調整加工しながら徐々に後方へ移動させられ、加工レートは速い状態から徐々に遅い状態になるように制御される。この間、イオンガン 9 に供給されている電力は一定に保たれ、安定した照射能力が確保できる。従って、加工レートの計算および調整は簡単であり、精度の高い周波数調整が行える。さらに、照射が中断してしまったり、過大に照射して周波数が合わせ込み周波数 f_0 以上となって調整が出来なくなったりするトラブルも排除できる。そして、ワーク 3 のモニターされた共振周波数 f_0 が各ブロックのターゲットの周波数に達するとプラズマを遮断し、ワーク 3 を搬送機構 18 によって次のブロックに移行させる。

【0036】アルゴンイオンの照射開始および遮断は直流電源 13 を直接オン、オフすることによって制御しても良い。あるいはプラズマを連続発生させた状態でシャッター 16 をシャッター駆動機構 17 で制御して開閉しても良い。イオンガンによって安定した照射を行うには、イオンガンを定常状態で稼働させることが望ましく、その面ではシャッター 16 を用いてオン・オフすることが有効である。シャッター 16 を用いてオフする場合は、本例の加工装置においては、イオンガン 9 とワーク 3 との距離は十分に確保されており、加工レートは低下した状態である。従って、シャッタースピードや制御に対する応答性にはそれほど高い値が要求されず、公知の信頼性の確立された機構を用いることができる。本例の装置では、さらに、3 つのブロックを用いて最終的に合わせ込む際の加工スピードを低くできるようにしてあるので、この点でもシャッターおよびその制御機構に過大な要求は必要とされない。

【0037】図 8 に、本例の装置を用いて周波数調整を行う過程の圧電素子の周波数変化の状態を示してある。時刻 t_1 に照射を開始するとワーク 3 の近傍に位置する噴き出し口 5 からアルゴンイオンが電極に照射され、急激に周波数は上昇する。その後、上記の過程に従って、噴き出し口 5 とワーク 3 との距離は徐々に広げられ、ワークの周波数変化量は抑制され、合わせ込み周波数へ徐々に近づく。そして、ブロック毎の合わせ込み周波数近

傍になったところでイオンガン 9 をワーク 3 からさらに遠ざけることによって、調整に適した加工レートを得ている。時刻 t_2 に周波数 f_1 が合わせ込み周波数 f_0 等と略一致すると照射を中止する。照射を中止するタイミングは、上流の加工工程では、ターゲットの周波数に対しある程度の幅を持たしておいてももちろん良い。

【0038】図 9 に、本例の装置を用いた圧電素子の製造過程の概略フローチャートを示してある。まず、ステップ 51 で圧電素子の表面に金属製の電極を蒸着等で形成する。次に、ステップ 52 で本例の加工装置に電極の形成された圧電素子（ワーク）をセットする。そして、ステップ 53 で第 1 のブロックに入り、粗調用の照射が行われる。この過程でのワークの周波数 f_1 をステップ 54 でモニターし、第 1 のブロックのターゲットとする周波数 f_0' に達するまで照射を継続する。この際、ステップ 55 でモニターされた周波数に基づき、適当な加工レートが得られるようにワークとイオンガンとの距離を調整する。

【0039】ステップ 54 でモニターされた周波数 f_1 がターゲットの周波数 f_0' に達すると、ワーク 3 は搬送機構によって次の第 2 のブロックに移動し、ステップ 56 において粗微調用の照射が行われる。このブロックにおいてもステップ 57 で周波数 f_1 がモニターされ、ターゲットの周波数 f_0' と比較される。ターゲット周波数 f_0' に達するまでステップ 58 において加工レートを調整しながら照射が継続される。

【0040】ステップ 57 においてターゲットの周波数 f_0' に達したと判断されると、ワーク 3 はさらに第 3 のブロックに搬送され、微調用の照射がステップ 60 で行われる。ステップ 61 で周波数 f_1 がモニターされ、合わせ込み用の周波数 f_0 と一致するまで加工レートをステップ 62 で調整しながら照射が継続して行われる。合わせ込み周波数とモニターされた周波数が一致すると、加工装置が搬出される。そして、共振周波数が精度良く調整された圧電素子は、この素子を表面実装デバイスなどの市販される状態に加工する下流の工程に供給される。

【0041】このような加工工程を採用すると、個々のワークに対し、そのワークの持つ固有の条件に対応して共振周波数をモニターしながら調整できる。従って、これらの工程によって得られたワーク、すなわち圧電素子の周波数は非常に精度が高く、得られた圧電素子の共振周波数のばらつきも非常に小さい。さらに、周波数の合わせ込みが失敗する恐れも殆どなく、無駄を省いて効率的な製造が可能となる。このように、本発明に係る製造方法および加工装置を採用することによって、プラズマを用いた周波数調整方法を実際に適用して、安価に、また短時間に高性能の圧電素子を製造し、提供できる。

【0042】図 10 に、本例の加工装置によって周波数調整された圧電素子の例を示してある。図示した圧電素

子3は、矩形状のATカット水晶片を圧電体3aとして用い、その両面に銀を蒸着させて2枚の電極4aおよび4bが形成されている。そして、それらの一方の電極4bにアルゴンイオンを照射して一点鎖線4cで図示してある厚みから減厚している。減厚時の加工レートは、照射されたイオンが電極に衝突するときのエネルギーによって変化する。従って、上記の加工装置のように3段階のブロックのそれぞれにおいて、予めワークとイオンガンとの距離を粗調、粗微調、微調を行うのに適したエネルギーが得られる距離に設定しておき、その距離を前後

10 させることで微細なチューニングを行うことが望ましい。これに替わり1台のイオンガンを粗調、粗微調、微調に用いることも可能である。この場合は、それぞれの工程に適したエネルギーの距離に荒く調整する駆動機構と、それらの距離の前後で微細に距離を調整する駆動機構の2つを用いると、上記と同様の工程でもって周波数調整を行うことができる。なお、距離の調整は本例のようにイオンガン側に限らず、ワーク側を動かしてももちろん良く、両方を動かすことも可能である。

【0043】また、ワークとイオンガンとの距離と同様に、イオンガンからワークに流れるイオン電流、イオンガンに印加されるフローティング電位、あるいはその両方を調整してワークに衝突するエネルギーを調整することも可能である。この他に、イオン化するガスの種類を変えたり、磁場などを用いて距離を等価的に変動させることも可能である。さらに、マスクの面積を変えて電極への照射量を制御するなど、電極を減厚する能力を調整するためには種々の手段を用いることが可能であり、これらのいずれの手段を用いても本発明を構成できることはもちろんである。

【0044】さらに、上述した加工装置では、2枚の電極4aおよび4bのうち、一方の電極のみを減厚してある。これに替わり、対向するイオンガンを設けて両方の電極を減厚してもよいことはもちろんである。また、ワークとしても図示したようなATカットされた水晶振動片に限らず、音叉形の振動片や、圧電体としてセラミックスを用いた素子など、電極の厚みを調整することによって周波数を調整できる素子であれば本発明を適用できることはもちろんである。

【0045】さらに、上述した加工装置では、複数のワークを、並列に配置された3つのブロックに順々に搬送しているが、これらのブロックを放射状に配置し、ワークを各々のブロックに対し旋回させて粗調、粗微調、微調の各ステップを行ってももちろん良い。周波数調整を行う複数のブロックの配置は、このように製造工程のレイアウトや、製造する素子の特性などを考慮して様々にアレンジできる。さらに、上記の加工装置では粗調、粗微調、微調の3段階に分けて周波数調整を行っているが、これらの区分けも1段階から4段階以上の多段階まで、イオンガンの能力や、ワークの特性などを考慮して

自由に設定できる。また、スパッタエッチングのようにワークをプラズマを形成する一方の電極として照射を行っても同様の効果を得られる。

【0046】図11に、本例のプラズマを用いた加工方法で周波数調整された26MHzの基本波のATカット水晶振動子の85°Cにおけるエージング特性(図11(a))と、従来の蒸着によって周波数調整された同種のATカット水晶振動子のエージング特性(図11

(b))を示してある。本図にて判るように、蒸着により周波数調整を行った振動子では100時間程度で周波数変化が表れ、1000時間を経過すると2ppm以上の周波数変動が見られる。これに対し、本発明にかかるプラズマを用いて周波数調整を行ったATカット水晶振動子では、100時間程度では周波数変化は見られず、1000時間を経過した段階でも、蒸着による振動子の1/3程度の周波数変化が見られるだけである。また、図11には所定時間経過したのちの周波数のばらつき

(3σ)を示してある。本図から判るように本発明の加工方法で周波数調整されたATカット水晶振動子は、1000時間後における周波数のばらつきも小さい。このように、本発明に係る電極を減厚して周波数調整を行った振動子では、電極上にさらに金属を蒸着して周波数調整を行った従来の振動子と比較し、非常に性能が安定しており、耐久能力の高い振動子が得られる。

【0047】このように本発明に係る製造方法および加工装置によって量産が容易となったプラズマを用いて周波数調整された圧電素子は、共振周波数の精度が高く、共振周波数のばらつきも小さく、さらに、エージング特性も非常に良いことが判明した。

【0048】図12に、水晶を用いて周波数調整された水晶振動体を封止した水晶振動子の概要を示し、図13および図14に、この水晶振動子の断面を示してある。本例の水晶振動子70は、シリンダー状のケース79を備えており、その直径は 2.0 ± 0.2 mm、長さは 6.0 ± 0.5 mm程度である。このケース79の内部に水晶振動体3が封止されており、各電極4の各々にリード72が接続されている。リード72は、ベース71を介してケース79の外側に導かれており、リード72を介して水晶振動体3に電力を供給し発振できるように

40 になっている。

【0049】図15に、本例の水晶振動子70を樹脂によってモールドし、表面実装化した水晶振動子80を示してある。この水晶振動子80は、水晶振動子70のシリンダー状のケース79から突出したリード72を金属リード81に溶接し樹脂82にてモールドしたものである。本例の水晶振動子80は、ケース79を樹脂82によってモールドしてあるので、このままの状態では基板の表面に実装できる素子である。

【0050】図16は、本例の水晶振動子70とIC集積回路91とを組み合わせ樹脂によってモールドした

水晶発振器90を示してある。この水晶発振器90においては、水晶振動子70、および水晶振動子70を発振させる発振回路が少なくとも内蔵されたIC集積回路91が金属フレーム92の上に樹脂82によってモールドされた状態で搭載されている。そして、本装置90を基板に実装することによって基板上に搭載された各回路の動作を規定する基準周波数を供給することができる。本例の水晶振動子10の直径は2~3mm程度と小型にできるので、発振器の厚みも2.5~3.7mm程度にでき、非常に小型、軽量化できる。さらに、本例の水晶振動子を用いることにより、精度の高い高周波を安定して供給できるので、動作の高速化した電子装置に適した発振器である。

【0051】このように、本発明の製造方法、加工装置を用いて水晶振動子などの圧電素子の周波数調整を行うことによって、IC等と同様にSMD（サーフィス・マウント・デバイス）として採用できる程度に小型化、軽量化され、さらに、精度の高い高周波を安定して発振可能な振動子および発振器を提供することが可能となる。さらに、このような優れた特性を持つ圧電素子を歩留り良く提供できるので、本発明によって、今後、軽量化、小型化、さらに、高速化が進む通信機器、情報処理装置をはじめ様々な電子機器分野に好適な圧電素子、これを用いた振動子、および、発振器を提供することができる。

【0052】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明に係る製造方法、加工装置を用いることによって、従来から提唱されていたプラズマを用いた周波数調整方法を実際に用いて精度の高い圧電素子を効率良く製造し、提供することが可能となる。そのために、本発明においては、周波数調整中の共振周波数をモニター可能とし、照射源が安定した状態で加工レートを自由に設定できるようにしてある。従って、圧電素子各々の固有の状態にも柔軟に対応でき、共振周波数のばらつきの少ない圧電素子を提供することが可能である。そして、本発明によって製造された圧電素子はエージング特性も良好であり、非常に安定した性能が得られる。

【0053】さらに、共振周波数をモニターしながら周波数調整を行うことができるので、経験やカンといったファクターを加えなくても精度の高い調整が可能であり、さらに、過大に周波数を調整しすぎるといった問題もない。従って、本発明に係る製造方法、加工装置は自動化の進んだ圧電素子の製造工程に適したものであり、圧電素子を効率的に製造できる。さらに、複数の段階に分割した周波数調整も行っており、これらによって周波数調整のスピードアップとファインチューニングという2つの要求を同時に満足させ、プラズマを用いた周波数調整方法を実際に採用できるようにしている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の周波数調整を行う加工装置の概略を示すブロック図である。

【図2】図1に示した加工装置のブロックの1つの概略構成を示す斜視図である。

【図3】図1に示した加工装置の周波数測定系の構成を示すブロック図である。

【図4】図3に示したフィクスチャーを構成する異なった回路構成を示す図である。

【図5】図3に示したフィクスチャーを構成する異なった回路構成を示す図である。

【図6】図3に示したフィクスチャーを構成する異なった回路構成を示す図である。

【図7】図3に示す測定系の異なった構成を示すブロック図である。

【図8】周波数を調整する工程において加工レートが変化している様子を示すグラフである。

【図9】本発明の製造工程を示すフローチャートである。

【図10】図1に示した加工装置によって周波数調整された圧電素子を示す正面図(a)および側面図(b)である。

【図11】図10に示す圧電素子のエージング特性を、従来の圧電素子と比較して示す図である。

【図12】図10に示した圧電素子を封止した振動子の概要を示す斜視図である。

【図13】図12に示した振動子の構成を示す断面図であり、圧電素子の正面で切断した状態を示す図である。

【図14】図12に示した振動子の構成を示す断面図であり、圧電素子の側面で切断した状態を示す図である。

【図15】図12に示した振動子をモールドしたSMDタイプの振動子の構成を一部切り欠いて示す図である。

【図16】図12に示した振動子と発振用のICをパッケージングした発振器の構成を示す断面図である。

【符号の説明】

- 1・・・ネットワークアナライザ
- 2・・・フィクスチャ
- 3・・・圧電素子
- 4・・・電極膜
- 5・・・噴き出し口
- 8・・・ガスボンベ
- 9・・・周波数調整源（イオンガン）
- 10・・・真空容器
- 11・・・メカニカルブースタポンプ
- 12・・・ロータリポンプ
- 13・・・直流電源
- 14・・・駆動装置
- 15・・・外部演算装置
- 16・・・シャッタ
- 17・・・シャッタ駆動機構
- 20・・・圧電素子搬送機構

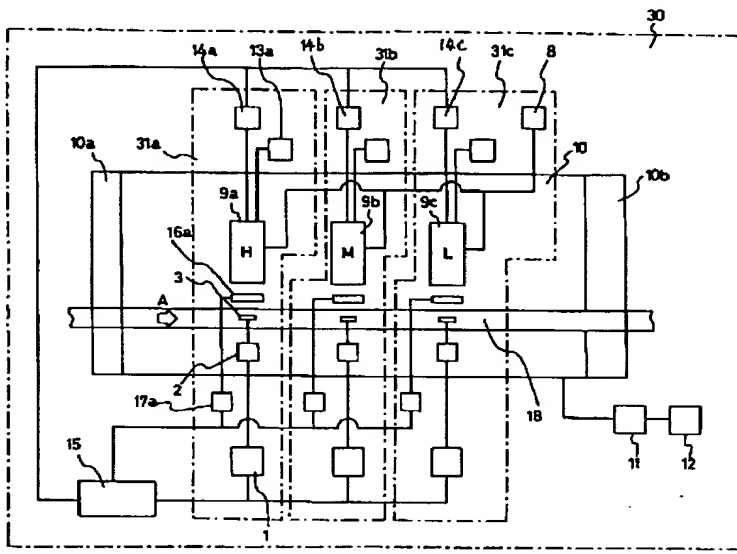
17

18

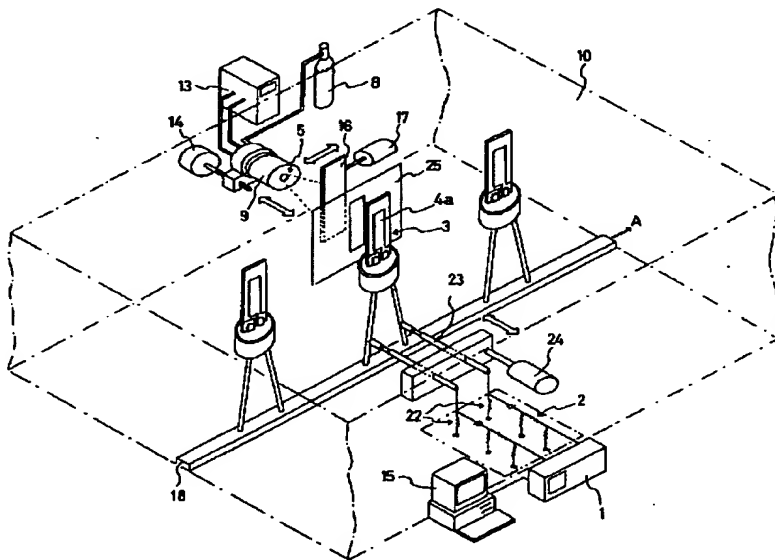
19・・・抵抗
20・・・抵抗

21・・・抵抗
22・・・コイル

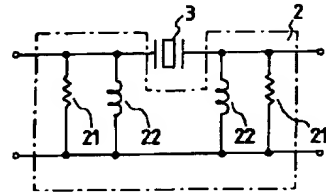
【図 1】



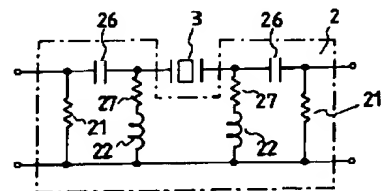
【図 2】



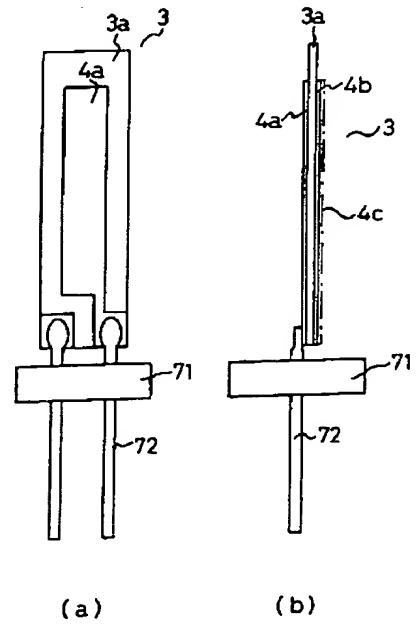
【図 4】



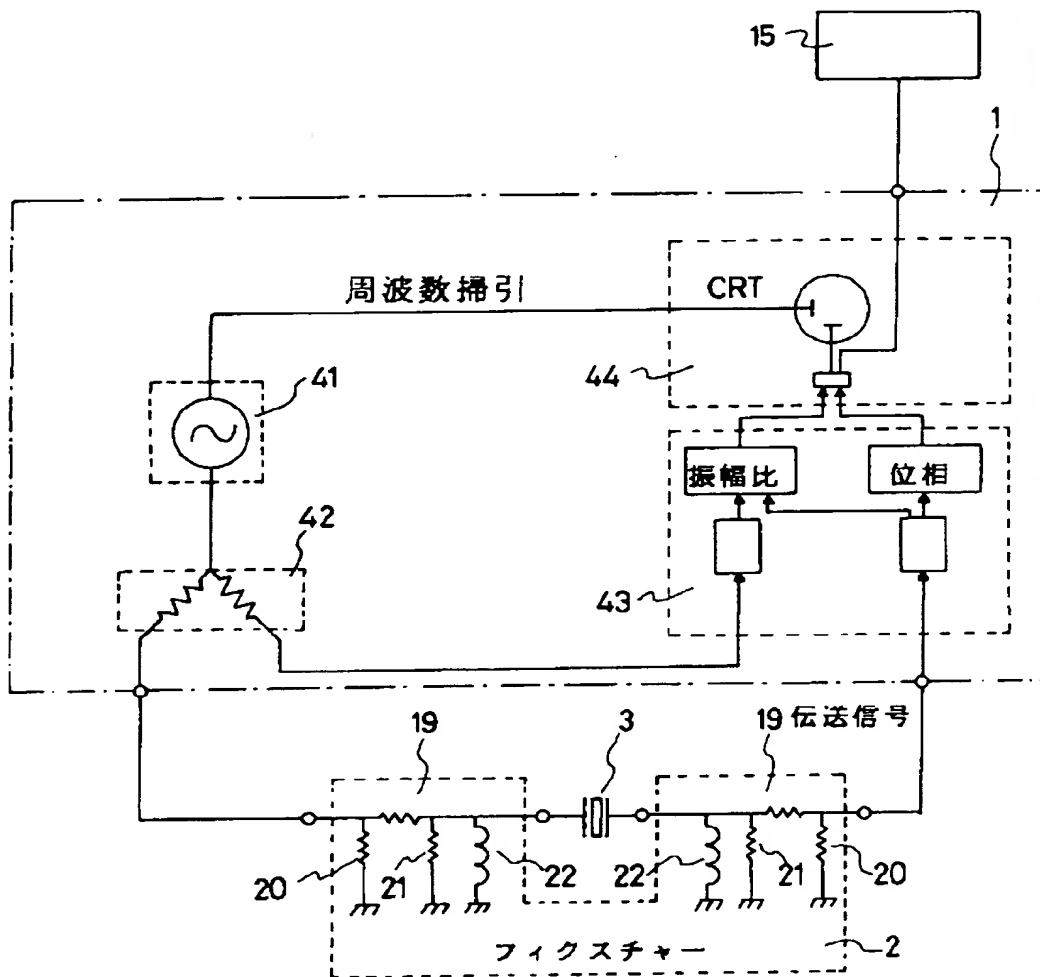
【図 6】



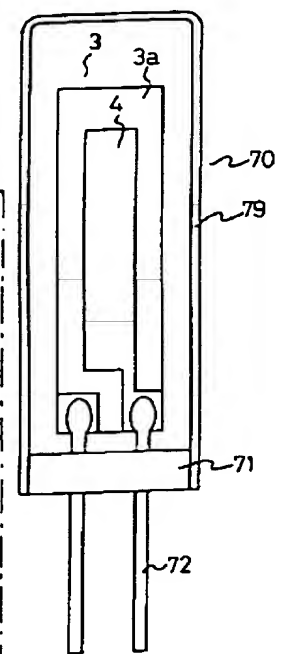
【図 10】



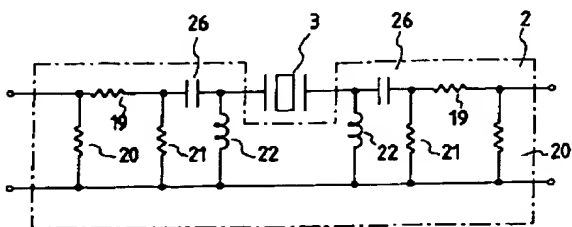
【図3】



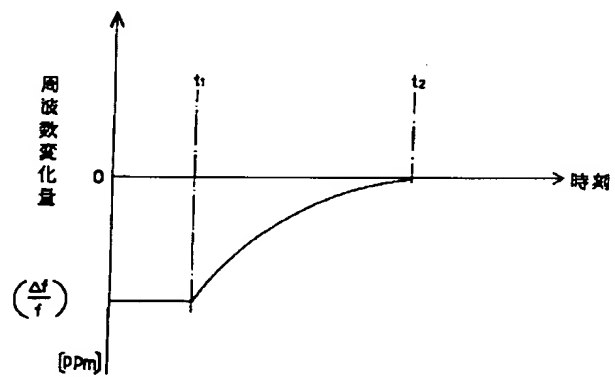
【図13】



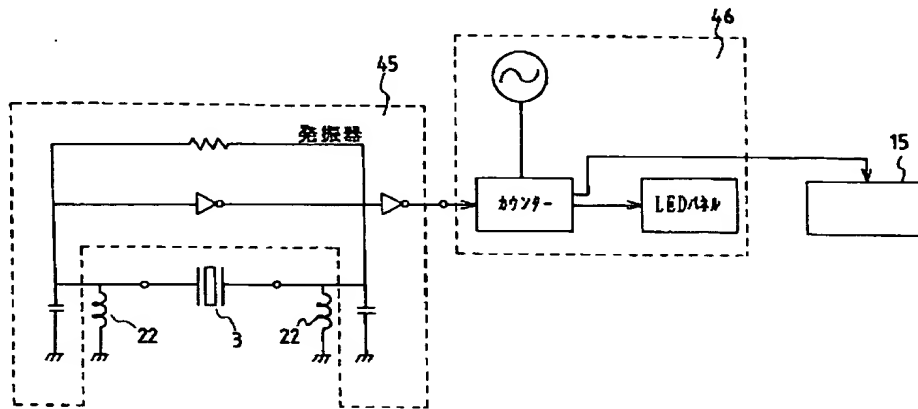
【図5】



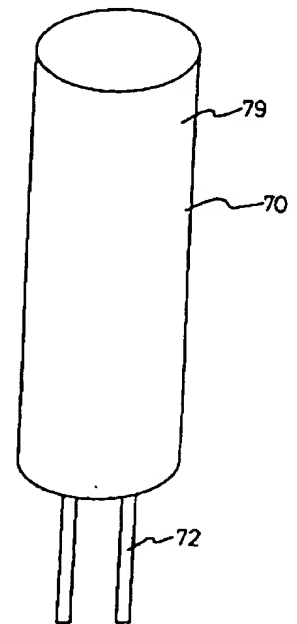
【図8】



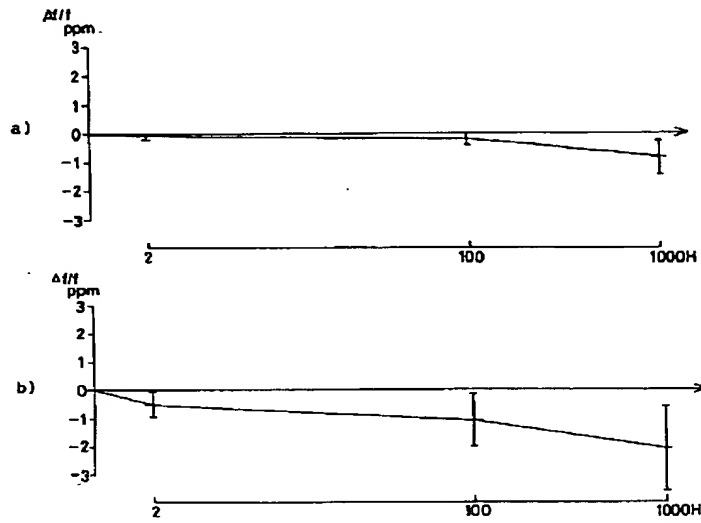
【図7】



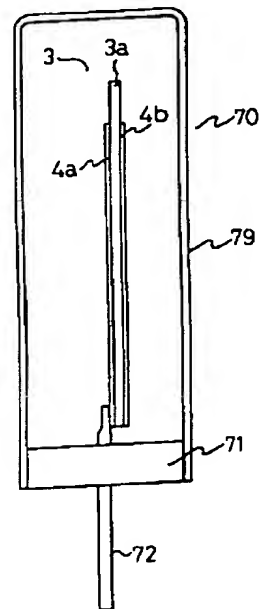
【図12】



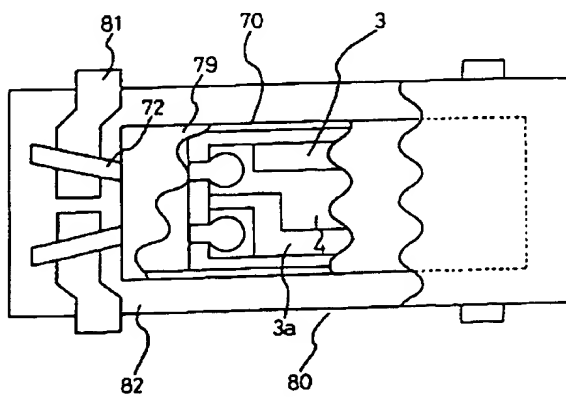
【図11】



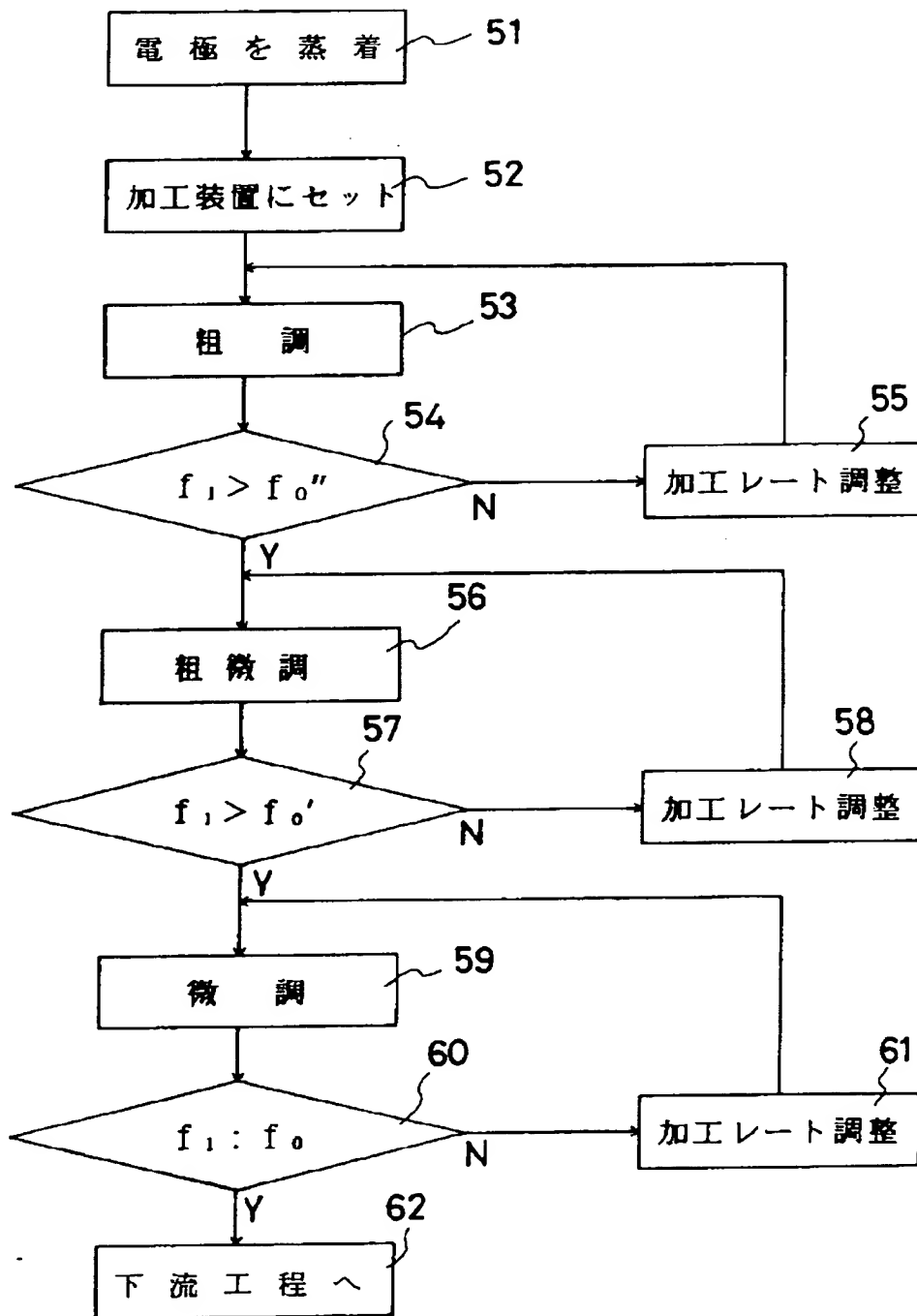
【図14】



【図15】



【図9】



【図 1 6】

